IB法とCahn-Hilliard法による非ニュートン流体の数値シミュレーション

Numerical Simulation of Non-Newtonian Fluid using Immersed Boundary and Cahn-Hilliard Method

正 辻本 公一 (三重大院) ○ 学 大門伸輝 (三重大院)
正 社河内敏彦 (三重大院) 正 安藤俊剛 (三重大院)

Koichi TSUJIMOTO, Graduate School of Eng., Mie Univ., Kurimamatiya-cho 1577, Tsu 514-8507

Nobuki DAIMON, Graduate School of Eng., Mie Univ.

Toshihiko SHAKOUCHI, Graduate School of Eng., Mie Univ.

Toshitake ANDO, Graduate School of Eng., Mie Univ.

Key Words: Immersed boundary, Cahn-Hilliard equation, Numerical simulation, Non-newtonian

1 緒論

射出成型に関連するシミュレーションの高精度化を考えた場合、考慮しなければならない要素として、非定常流れであること、粘弾性効果を示す樹脂特性について精度よく表現する構成方程式を導入すること、高温状態にある溶解された樹脂と金型の熱移動を連成させて解析すること等が上げられる⁽¹⁾。これらはあくまでも単層の樹脂としての流動解析への要求条件で、これまでは周囲流体（空気）との干渉は全く無視されてきた。特に効率化による射出速度の高速化の要求もあり、周囲流体との干渉による樹脂挙動の不安定化は無視できず、精度よい解析手法の確立が求められる。

筆者らは近年二相流の界面追跡法として Cahn-Hilliard 法⁽²⁾に注目し、沸騰現象等の複雑な流動現象が再現できることを示した⁽³⁾。この方法では比較的簡便に界面を高精度に追跡することが可能で、比較的複雑な流動場を伴う場合についても容易に適用できる。本研究ではこの二相流解析法をもとに金型のような複雑な流路形状に簡便に対応する方法として IB 法 (Immersed Boundary Method)⁽⁴⁾を採用した解析手法の提案を行う。さらに二相流固有の不連続界面の存在による数値不安定除去のため、対流項の数値スキームについてもトレードオフを行い、縮小一拡大流での射出問題から、提案する二相流解析法の有効性を示す。

1.1 計算結果

本計算では、一次風上法、QUICK 法、Adaptative QUICKEST 法を用いて、対流項に対するスキームの影響を調べた。又、比較のため、Filtering による結果も示す。

Fig.1 に Adaptative QUICKEST 法に対する界面挙動の時間変化を示す。

中心差分の場合、樹脂が拡大部へ到達した後、界面挙動が不安定となり、計算は発散した。QUICK 法の場合、中心差分と比べ、数値粘性の影響により界面は若干安定化するが、結果的に計算は発散した。参考として、一次風上法の場合、非常に強い数値粘性の影響で計算自体は安定にはなるが、界面が全く不安定にならず、明らかに不適切な結果となった。これまでの二相流解析では一般的に対流項の上流化が行われているが、本計算でも同様に上流化による安定化が不可欠である。一方、Fig.1 に示す Adaptative QUICKEST 法の場合、中心差分よりも界面挙動は安定で、且つ、計算は発散しない。しかしながら、中心差分、QUICK 法との界面形状の違いは大きいことから解の妥当性について調べるため、高次精度フィルタリングで解の安定化をはかった結果、Adaptative QUICKEST 法と比較すると、

それぞれ界面挙動の不安定現象は酷似しており、妥当な解が得られている。

Fig. 1: Interface behavior(Adaptative QUICKEST)

2 結論

Immersed-Boundary Method を組み込んだ Cahn-Hilliard Method による二相流解析コードを開発し、樹脂界面挙動のシミュレーションを行った結果、以下の結論を得た。

- 二相流固有の不連続界面の存在による数値不安定除去のため、対流項には、高次の上流化が必要不可欠である。
- 縮小一拡大流での二相流を解析した結果、液相は周囲流体の気相の影響を大きく受けることがわかった。従って、樹脂挙動の高精度な予測には単相流でなく二相流として解析する必要がある。

参考文献

- (1) 日本塑性加工学会, 流動解析—プラスチック成形, コロナ社 (2004).
- (2) 一例として, V. E. Badalassi, H. D. Cenicerros and S. Banerjee, Computation of multiphase systems with phase field models, *Journal of Computational Physics*, Vol.190-2(2003), 371-397.
- (3) 辻本公一, 水谷祐貴, 社河内敏彦, 安藤俊剛, Cahn-Hilliard 法を用いた沸騰・凝縮の数値シミュレーション, 第 20 回数値流体力学シンポジウム講演要旨集 (CD-ROM) F7-4, (2006.12), 1-6
- (4) E.A.Fadlun, R.Verzicco, P.Orlandi, and J.Mohd-Yusof, Combined Immersed-Boundary Finite-Difference Methods for Three-Dimensional Complex Flow Simulations, *Journal of Computational Physics* 161(2000), 35-60.